

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:
COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO CON UNA ANTENA DE
DOS DIPOLOS PARA BANDA DE ONDAS MILIMÉTRICAS.

AUTORA:
MAYRA ALEJANDRA CADENA ALBUJA

TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito, enero del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Mayra Alejandra Cadena Albuja con documento de identificación N° 1725910028, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO CON UNA ANTENA DE DOS DIPOLOS PARA BANDA DE ONDAS MILIMÉTRICAS. mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



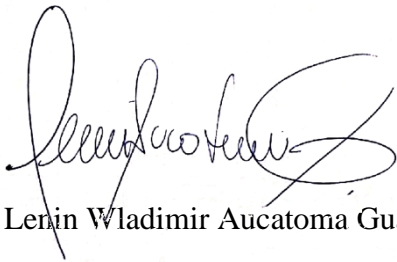
Mayra Alejandra Cadena Albuja
C.I: 1725910028

Quito, enero del 2021.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO CON UNA ANTENA DE DOS DIPOLOS PARA BANDA DE ONDAS MILIMÉTRICAS. realizado por Mayra Alejandra Cadena Albuja, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2021.



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

C.I.: 1717985830

DEDICATORIA

El presente artículo académico quiero dedicarle principalmente a mi madre Nelly Albuja porque me ha brindado su apoyo incondicional, que a pesar de haberse quedado sola supo trabajar arduamente superando día a día todas las dificultades que conllevan una separación, pero con su amor y sobre todo su ejemplo supo educar a todos sus hijos y convertirnos en los seres humanos que somos ahora.

A mis queridos hermanos Jorge e Ishmael porque son mi mayor motivación para superarme día a día y que siempre tengan presente que hay que luchar por nuestros sueños sin importar las dificultades.

A mi querido tío Gonzalo por estar siempre a mi lado apoyándome y aconsejándome sobre todo por preocuparse por mi bienestar, desde que nací me supo demostrarme su amor.

A mi padre Jorge por haberme apoyado económicamente al inicio de mi carrera universitaria y fundamentalmente porque gracias a los problemas que hubo, me permitieron ser una persona fuerte y tener presente siempre que las mujeres somos muy capaces y valiosas en el mundo profesional.

Finalmente, quiero dedicarle mi trabajo a Danny que me apoyado desde que nos conocimos, ha sido mi amigo y pareja, él me ha recordado que soy una persona muy capaz de conseguir todo lo que me propongo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por haberme llenado de sabiduría y así poder culminar con éxito mi carrera profesional.

Quiero agradecer a mi madre por haberme dado la vida y sobre todo porque me apoya siempre en todas mis decisiones que hoy en día me han permitido ser una profesional.

Quiero agradecer a mis profesores y a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme formado profesionalmente y con un espíritu salesiano.

Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos para banda de ondas milimétricas

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Ingeniería Electrónica
Docente Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Mayra Alejandra Cadena Albuja
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
mcadenaa@est.ups.edu.ec

Resumen— En este artículo se desarrolla la comparación entre una antena dipolo simple y una antena dipolo doble. El estudio se realizó mediante el software ANSYS HFSS, donde se efectuó las simulaciones de los diseños propuestos de las antenas, las mismas que van a trabajar en la banda de onda milimétrica (MMW) concretamente a una frecuencia de 60 GHz. Los lóbulos de radiación de ambos sistemas radiantes son semejantes ya que existe una variación leve en la ganancia de cada ángulo en el plano Φ (Φ). La investigación muestra las diferentes formas, elementos y materiales que compone cada antena. Se determinó que la antena dipolo doble presenta un mayor rendimiento a comparación de la antena dipolo simple, ya que los valores de S11 es de -23.01 dB, el BW es de 8.22 GHz y el VSWR es de 1.22, estos datos son mejores en cada simulación a comparación con los valores de la antena dipolo simple que tiene como resultado un S11 de -21.40 dB, el BW de 6.05 GHz y el VSWR de 1.48.

Abstract— This article develops the comparison between a single dipole antenna and a double dipole antenna. The study was carried out using the ANSYS HFSS software, where the simulations of the proposed designs of the antennas were carried out, the same ones that will work in the millimeter wave band (MMW) specifically at a frequency of 60 GHz. The radiation lobes of both radiating systems they are similar since there is a slight variation in the gain of each angle in the Φ (Φ) plane. The investigation shows the different shapes, elements and materials that make up each antenna. It was determined that the double dipole antenna presents a higher performance compared to the single dipole antenna, since the values of S11 is -23.01 dB, the BW is 8.22 GHz and the VSWR is 1.22, these data are better in each simulation compared to the values of the

single dipole antenna resulting in an S11 of -21.40 dB, the BW of 6.05 GHz and the VSWR of 1.48.

Keywords— *Dipolo simple, Dipolo doble, coeficiente de reflexión, VSWR, ganancia.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los recursos del espectro de las bandas de frecuencias menores al rango de las ondas milimétricas se están agotando, por lo tanto, las frecuencias de 30 a 330 GHz están captando mayor atención de investigación, debido a que este recurso es amplio en el espectro [1]. La particularidad de quinta generación (5G) es el cambio de frecuencias operativas a bandas de frecuencia más altas (más allá de 10 GHz) [2], empleándose en aplicaciones como los sistemas satelitales y móviles de bajo costo que funcionen a 28 y 30 GHz [3]. Entonces las redes 5G demandan velocidades de transmisión inalámbricas altas y un mayor tráfico de datos, la arquitectura 5G proporciona comunicación de baja latencia y ancho de banda en gigabits [4]. Debido a que las frecuencias de onda milimétrica son altas, se necesita el diseño de antenas de dimensiones reducidas con mejores potencias para proporcionar una mayor cobertura y alto rendimiento de datos [5].

Las antenas dipolo son un conductor de sección infinitesimal formada por un hilo recto en cuyo centro hay un generador (excitación) o una línea de transmisión. En el centro del dipolo hay una tensión reducida y una intensidad elevada; mientras que en los extremos del dipolo existe una tensión alta y una intensidad nula, por lo tanto, los dipolos son adaptables para que la antena presente mayor ganancia y rigidez mecánica [6]. Estas antenas tienen propiedades de ganancias estables,

polarización cruzada y patrones de radiación unidireccionales tanto en los planos eléctrico (E) y magnético (H) [7].

La polarización dual y el ancho de banda con impedancia amplia son las características técnicas de la antena dipolo, va a depender del diseño y construcción de la antena para fijar los patrones de radiación, pero estos siempre tienen algo en común y es que presentan radiación lateral con haces estrechos; a pesar de que el elemento radiante muestra una impedancia mayor al 90 % [8], la radiación en el plano H es diferente a la radiación en el plano E [8]. Las antenas dipolo de acuerdo a su geometría y tamaño tienen diferentes aplicaciones, pero sin duda las más prometedoras por sus simulaciones y resultados es en el campo de la transferencia de datos 3G, LTE, WiFi y WLAN. Las antenas dipolo emplean el concepto de excitar los campos eléctricos y magnéticos simultáneamente por lo que muestran un rendimiento estable y patrones de radiación idénticos en los planos E y H en bandas de operación amplias. [7].

II. DISEÑO DE LAS ANTENAS

En este artículo, el diseño tanto de la antena dipolo simple como la doble partió desde en la investigación detallada en [7], ya que en los resultados se visualiza los parámetros de dispersión aproximados a los objetivos de este estudio. Por otra parte, hubo varios diseños (figura 1) aumentando y quitando elementos de la antena, con el fin de obtener los resultados apropiados para el óptimo funcionamiento de los elementos radiantes y hasta llegar al modelamiento de la antena de la figura 2.

Antena Dipolo Simple

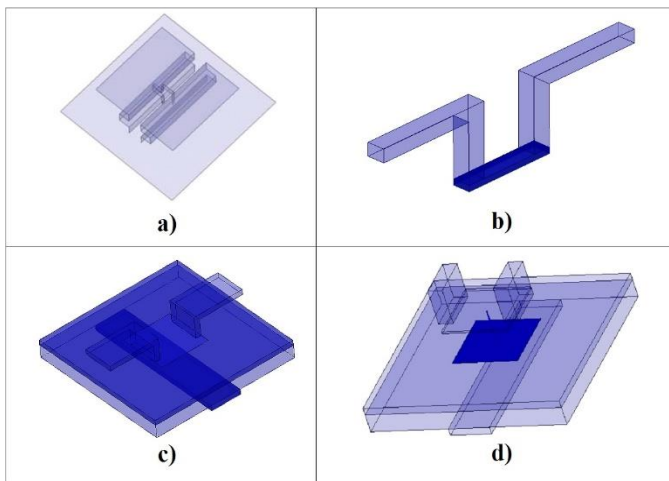


Figura 1. Evolución de los diseños de la antena dipolo simple.

- a) Diseño original de la investigación [7].
- b) Diseño con un dipolo y un sustrato.
- c) Diseño usando una microstrip.
- d) Diseño con una small patch.

La figura 1 y la figura 4 muestran todos los diseños experimentados de la antena dipolo simple y de la antena dipolo doble, los cuales permitieron llegar a los diseños de la figura 2 y la figura 5 respectivamente, con resultados que cumplen los parámetros $S(1,1)$, VSWR y patrón de radiación de la investigación.

Los elementos de la antena dipolo diseñada se muestran en la figura 2, donde se observa un dipolo simple de media longitud de onda, un ground (tierra), un sustrato y la excitación mediante un puerto agrupado (lumped port).

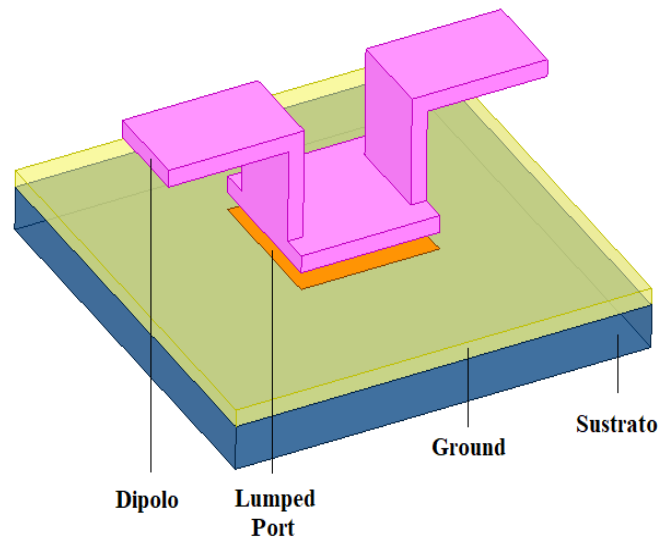


Figura 2. Componentes de la antena dipolo simple diseñada.

Las partes de la antena dipolo simple, se muestran en la figura 3, donde el dipolo tiene una altura es de 0.534 mm, un ancho de 0.565 mm y el largo es de 0.88 mm, el material es de oro que tiene una permitividad relativa (ϵ_r) de 1. La tierra (ground) tiene una base de forma cuadrada de 2.7 mm de lado y una altura de 0.1 mm, el material es de cobre con una ϵ_r de 0.9999. El sustrato es de FR4_EPOXY (resina de vidrio) que tiene una ϵ_r de 4.4, su base es un cuadrado de 2.7 mm de lado y tiene una altura de 0.254 mm. Además, la antena dipolo simple tiene un small patch que contribuye a la excitación de la antena con un radio y altura de 0.1 mm, el material aplicado es el mismo del dipolo.

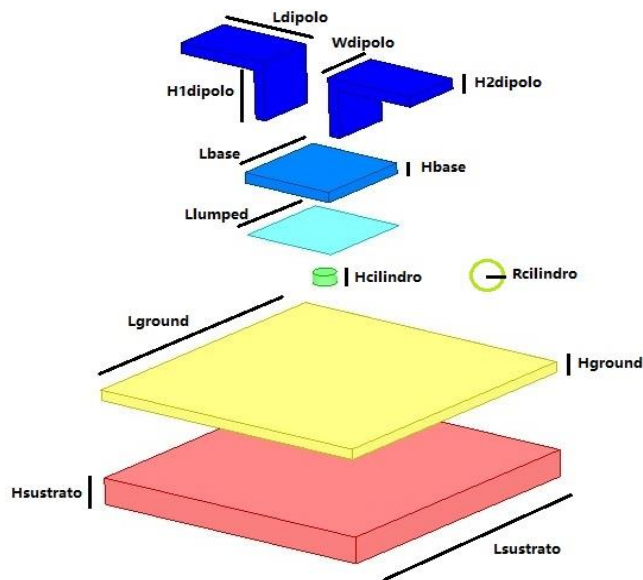


Figura 3. Capas del diseño de la antena dipolo simple.

La antena dipolo simple tiene como excitación una frecuencia de 60 GHz, este puerto es una superficie cuadrada de 0.9 x 0.9 mm, la misma que se encuentra sobre la superficie ground.

En la tabla 1, se muestra las dimensiones de la antena dipolo simple.

Tabla 1. Dimensiones del diseño de la antena dipolo simple.

Capa	Código	Medida [mm]
Dipolo	Ldipolo	0.88
	Wdipolo	0.565
	H1dipolo	0.534
	H2dipolo	0.1
Base	Hbase	0.1
	Lbase	0.9
Cilindro	Rcilindro	0.1
	Hcilindro	0.1
Lumped	Llumped	0.9
Ground	Lground	2.7
	Hground	0.1
Sustrato	Lsustrato	2.7
	Hsustrato	0.254

Antena Dipolo Doble

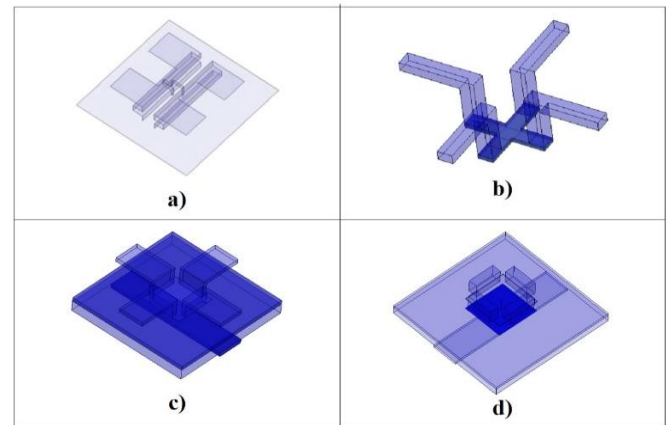


Figura 4. Evolución de los diseños de la antena dipolo doble.

- a) Diseño original de la investigación.
- b) Diseño con dos dipolos y un sustrato en cruz.
- c) Diseño usando una microstrip y un ground.
- d) Diseño con una small patch y la microstrip.

La antena dipolo doble de la figura 5, está diseñada con un sustrato, un ground, la excitación está dada por un lumped port y un small patch que conecta a dos dipolos simples ubicados en la parte superior de la placa patch.

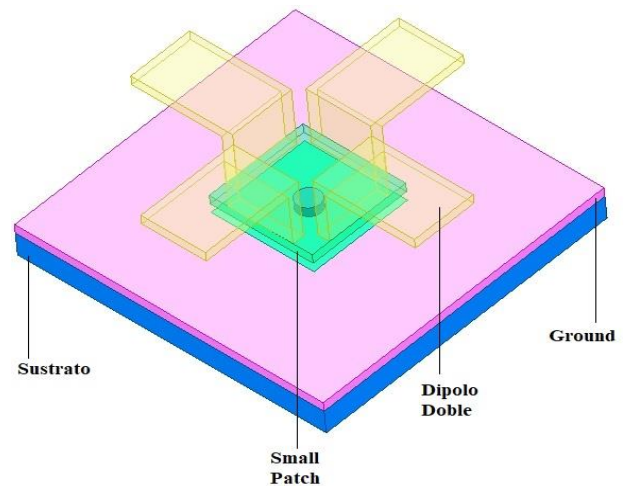


Figura 5. Componentes de la antena dipolo doble diseñada.

Las capas de la antena dipolo doble se muestran en la figura 6, donde el sustrato (FR4 EPOXY) tiene una base cuadrada de 2.7 mm de lado y una altura de 0.254 mm; el ground es de cobre (tierra) de forma cuadrada de 2.7 mm de lado y una altura de 0.1 mm; el lumped port es una lámina de 0.9 mm de lado; el small patch es un cilindro de 0.2 mm de diámetro y una altura de 0.1 mm; los dipolos se diseñaron de cobre con una altura de 0.535 mm y un largo de 0.89 mm con un grosor de 0.1mm.

III. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE LAS ANTENAS

Antena Dipolo Simple

La figura 7 muestra el gráfico del parámetro de dispersión $S(1,1)$ obtenido de cada uno de los diseños propuestos. La excitación de la antena dipolo es de 60 GHz, con una banda de frecuencias para el análisis de los parámetros de 40 GHz a 80 GHz, ya que en este rango el software HFSS ejecuta la simulación en menor tiempo.

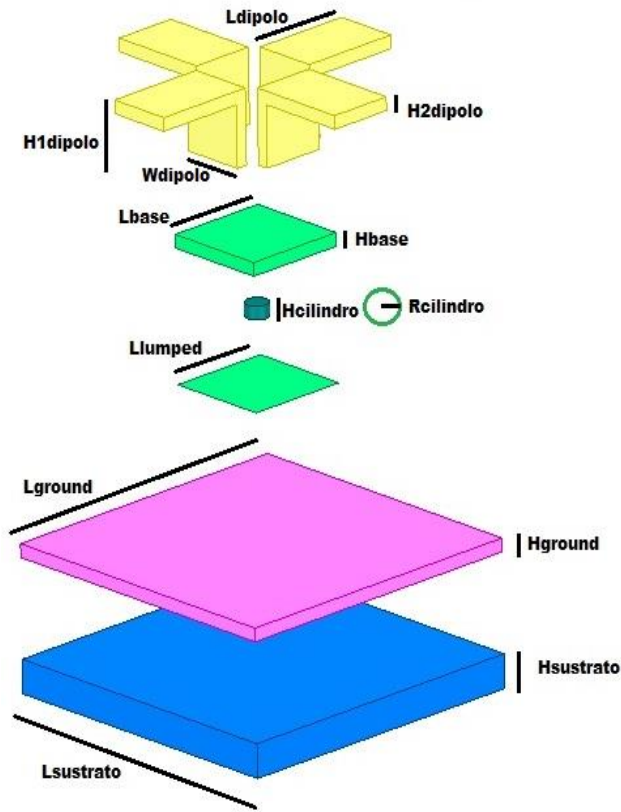


Figura 6. Capas de la antena dipolo doble.

En la tabla 2, se muestra las dimensiones de la antena dipolo doble.

Tabla 2. Dimensiones del diseño de la antena dipolo doble.

Capa	Código	Medida [mm]
Dipolo	Ldipolo	0.89
	Wdipolo	0.565
	H1dipolo	0.535
	H2dipolo	0.1
Base	Hbase	0.1
	Lbase	0.9
Cilindro	Rcilindro	0.1
	Hcilindro	0.1
Lumped	Llumped	0.9
Ground	Lground	2.7
	Hground	0.1
Sustrato	Lsustrato	2.7
	Hsustrato	0.254

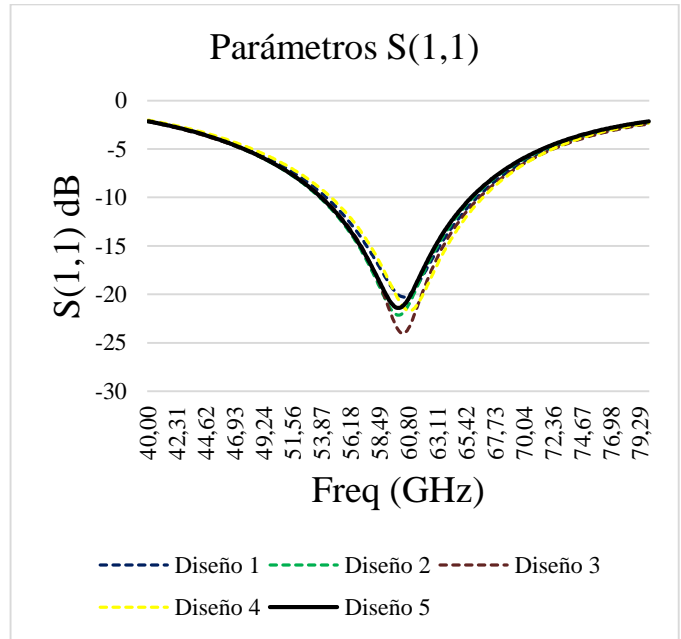


Figura 7. Coeficiente de reflexión de cada diseño de la antena dipolo simple.

La tabla 3 muestran los valores obtenidos del coeficiente de reflexión de cada diseño propuesto, estos valores se encuentran por debajo de los -20dB con una frecuencia que varía entre 60.00 – 60.89 GHz.

Tabla 3. Resultados del coeficiente de reflexión de los diseños de la antena dipolo simple.

Diseño	Freq (GHz)	S1,1 (dB)
1	60.44	-20.27
2	60.00	-22.14
3	60.36	-24.51
4	60.89	-21.70
5	60.00	-21.40

En la tabla 4 se muestran los resultados del ancho de banda permitidos para el funcionamiento de la antena dipolo simple, los mismos que fueron tomados a -15 dB; debido a que existe una relación de la energía reflejada sobre la energía que se transmite de 3/100.

Tabla 4. Resultados de ancho de banda de los diseños de la antena dipolo simple.

Diseño	BW(GHz)
1	5.85
2	6.31
3	6.57
4	6.13
5	6.05

La figura 8 muestra el valor del ancho de banda de la antena dipolo simple del diseño 5 a -15 dB igual a 6.05 GHz.

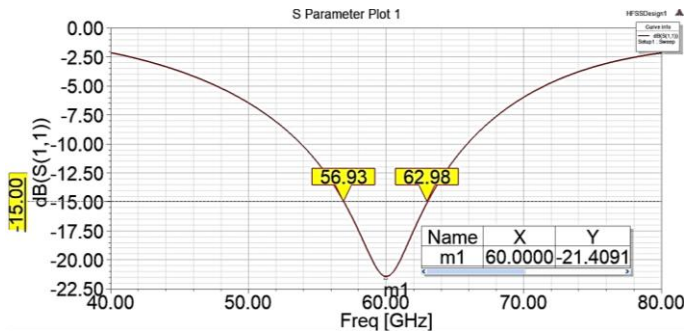


Figura 8. Ancho de banda de la antena dipolo simple.

En la figura 9 se observa el gráfico de la relación de onda estacionaria VSWR en la frecuencia de 60 GHz de los diseños propuestos. Se tiene una referencia de estudio de los valores del VSWR entre 1- 1.5 el mismo que permitirá tener un buen acople de impedancias.

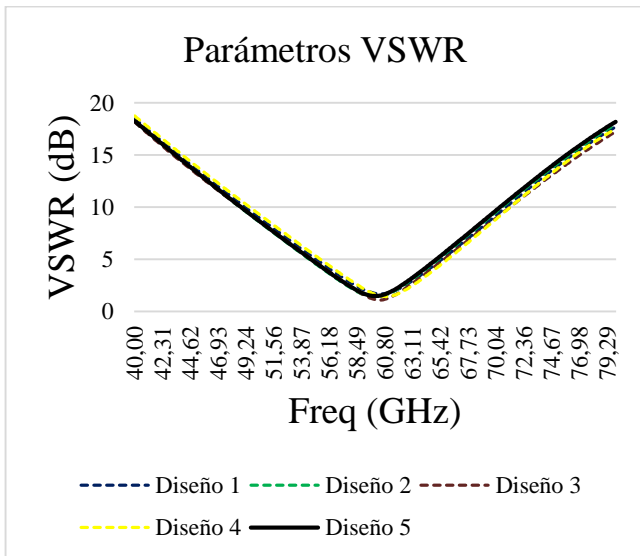


Figura 9. Relación de onda estacionaria de los diseños de la antena dipolo simple.

La tabla 5 muestra los resultados del VSWR de los diseños propuestos, se tienen valores que van desde 1.09 dB hasta 1.68 dB cumpliendo con los valores esperados para el análisis de la antena dipolo simple.

Tabla 5. Resultados del VSWR de la antena dipolo simple.

Diseño	Freq (GHz)	VSWR (dB)
1	60.44	1.68
2	60.00	1.35
3	60.36	1.09
4	60.89	1.43
5	60.00	1.48

En la figura 9 muestra los valores del lóbulo de radiación obtenido de cada diseño de la antena dipolo simple con un corte de Phi (Φ) a 0°. Los resultados obtenidos se encuentran sobre los -3db para no tener nulos en el patrón de radiación.

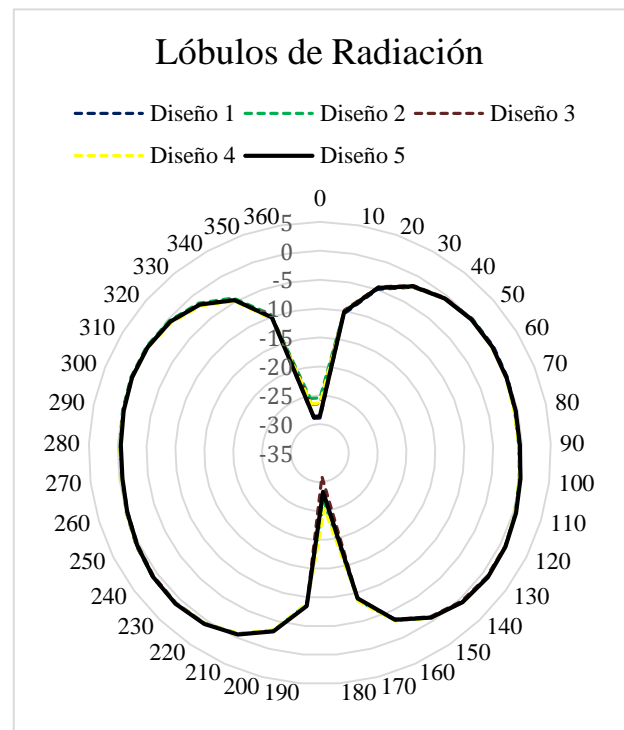


Figura 10. Lóbulo de radiación de cada diseño de la antena dipolo simple.

Las figuras 11 y 12 muestran el patrón de radiación de la antena dipolo simple, los diseños propuestos muestran la radiación omnidireccional con una energía de propagación horizontal a 360°. Se muestra el patrón de radiación del diseño 5 debido a que no existen cambios imperceptibles con los otros diseños.

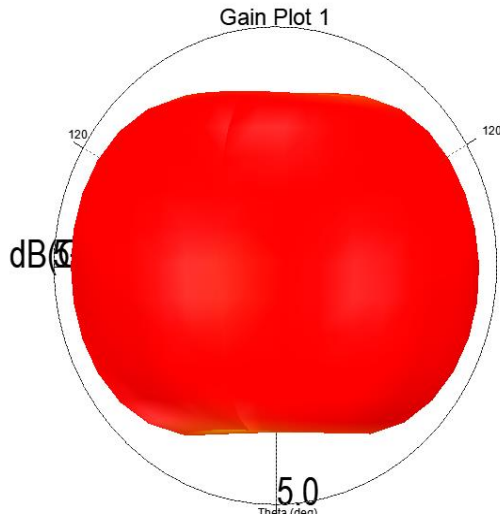


Figura 11. Patrón de radiación y vista frontal de la antena dipolo simple.

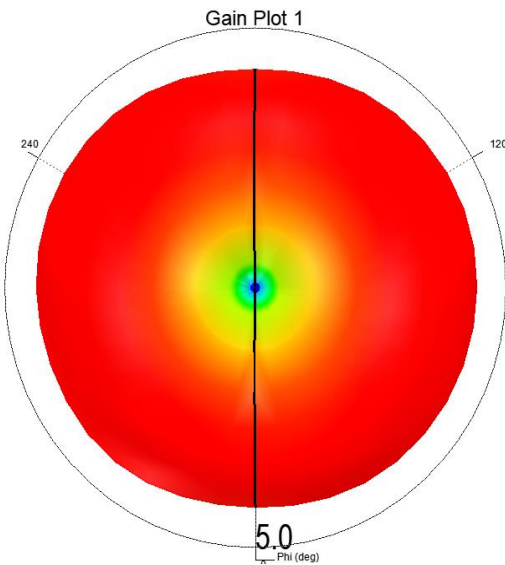


Figura 12. Patrón de radiación y vista superior de la antena dipolo simple.

La tabla 6 muestra los valores de ganancia máxima en potencia de los diseños simulados de la antena dipolo simple.

Tabla 6. Valores de la ganancia de cada diseño de la antena dipolo simple.

Diseño	Ganancia Max (dB)
1	1.4
2	1.5
3	1.5
4	1.5
5	1.3

Antena Dipolo Doble

La figura 13 muestra el gráfico del parámetro $S(1,1)$ de la antena dipolo doble, con un barrido de frecuencia de los 40 GHz hasta los 80 GHz.

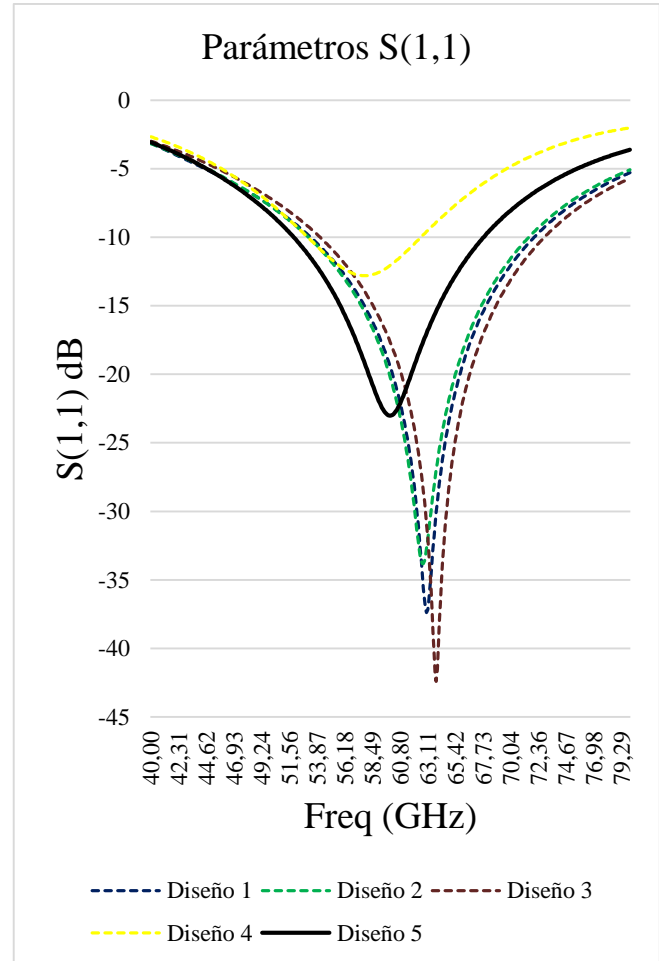


Figura 13. Coeficiente de reflexión de cada diseño de la antena dipolo doble.

Los coeficientes de reflexión de cada diseño de la antena dipolo doble se muestran en la tabla 7, estos valores varían entre con una frecuencia que varía entre 60.00 – 60.89 GHz.

Tabla 7. Resultados del coeficiente de reflexión de los diseños de la antena dipolo doble.

Diseño	Freq (GHz)	S1,1 (dB)
1	63.11	-37.17
2	62.67	-33.82
3	63.82	-42.41
4	57.69	-12.80
5	60.00	-23.01

Tabla 8. Valores de ancho de banda de cada diseño de la antena dipolo doble.

Diseño	BW(GHz)
1	10.17
2	10.03
3	10.26
4	4.44
5	8.22

El ancho de banda de la antena dipolo doble del diseño 5 en -15 dB es de 8.22 GHz como se puede apreciar en la figura 14.

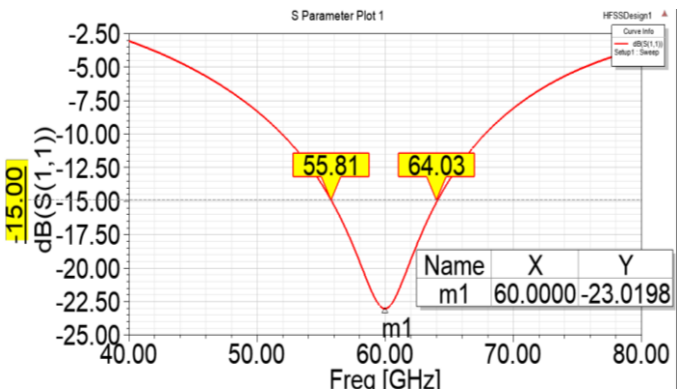


Figura 14. Ancho de banda de la antena dipolo doble.

En la figura 15 se observa el gráfico de la relación de onda estacionaria VSWR en la frecuencia de 60 GHz de los diseños propuestos.

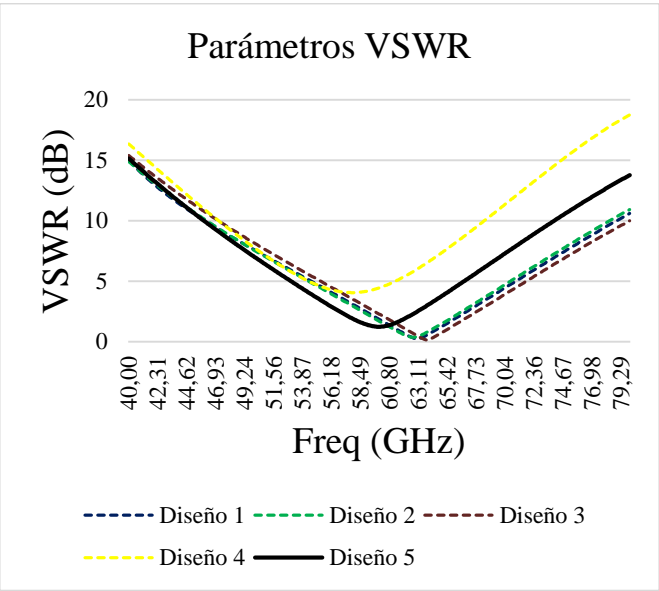


Figura 15. Relación de onda estacionaria de cada diseño de la antena dipolo doble.

La tabla 9 se muestra los valores del VSWR de los diseños propuestos, se tienen valores que van desde 1.09 hasta 1.68 cumpliendo con los valores esperados para el análisis de la antena dipolo simple.

Tabla 9. Resultados del VSWR de los diseño de la antena dipolo doble.

Diseño	Freq (GHz)	VSWR
1	63.11	0.24
2	62.67	0.35
3	63.82	0.13
4	57.69	4.05
5	60.00	1.22

La figura 16 muestra los valores del lóbulo de radiación obtenido de cada diseño de la antena dipolo simple con un corte de Phi (Φ) a 0°. Los resultados obtenidos se encuentran sobre los -3dB para no tener nulos en el patrón de radiación.

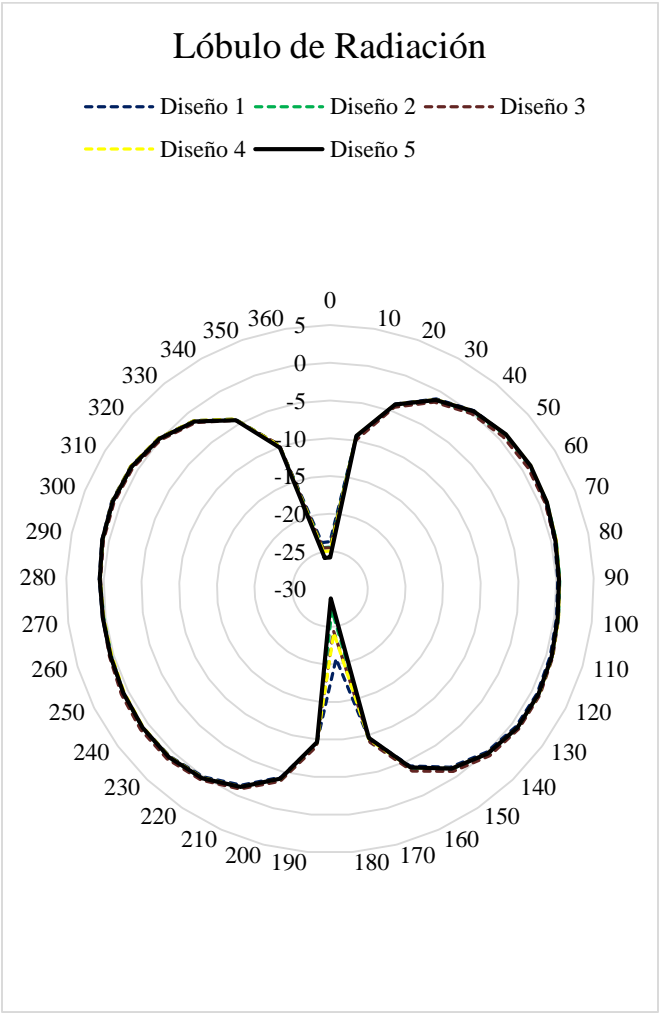


Figura 16. Lóbulo de radiación de los diseños de la antena dipolo doble.

La tabla 10 muestra los valores de ganancia máxima en potencia de los diseños simulados de la antena dipolo simple.

Tabla 10. Valores de la ganancia de cada diseño de la antena dipolo simple.

Diseño	Ganancia Max (dB)
1	1.36
2	1.40
3	1.3
4	1.4
5	1.2

Los patrones de radiación de vista frontal y superior se muestran en la figura 17 y 18, es omnidireccional con una propagación a 360° en el ángulo Phi (Φ).

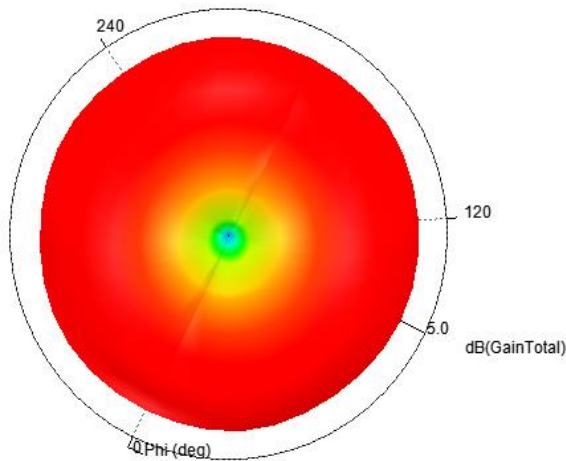


Figura 17. Patrón de radiación y vista superior de la antena dipolo doble.

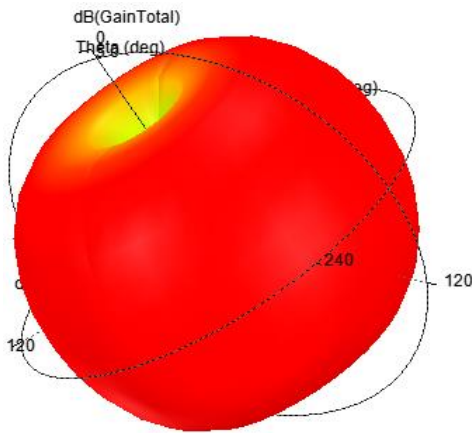


Figura 18. Patrón de radiación y vista frontal de la antena dipolo doble.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En primera instancia cabe recalcar que existen varias semejanzas entre la antena dipolo simple y la antena dipolo doble, tanto las geometrías del sustrato, la tierra, la excitación y el small patch son idénticas para ambas antenas como se muestran en la tabla 1 y tabla 2, de la misma forma que los materiales empleados en cada capa descrita. Por otra parte, la primera diferencia entre las antenas radica en la altura del dipolo (H_{dipolo}), porque esta medida permite el desplazamiento en frecuencia y así se afina la antena a los 60 GHz; la segunda diferencia es el largo del dipolo (L_{dipolo}), este parámetro ejecuta un cambio en el valor de las pérdidas del $S(1,1)$ y fija la forma del lóbulo de radiación para que sea omnidireccional.

La discusión del análisis se va a centrar en la comparación de los parámetros de dispersión tanto de la antena dipolo simple como la antena dipolo doble. Estos valores se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación de los resultados de la antena dipolo simple vs dipolo doble.

Parámetro	Dipolo simple	Dipolo doble
S11	-21.40 dB	-23.01 dB
VSWR	1.48	1.22
Ganancia	1.3 dB	1.2 dB

a) Parámetro S11

El valor de S11 de la antena dipolo simple a una frecuencia de trabajo de 60 GHz es de -21.40 dB, lo que da como resultado una relación de energía de 7/1000, por lo tanto, se tiene que hay una pérdida de 7 partes de 1000 a comparación de la antena dipolo doble que dispone de un S11 igual a -23.01 dB lo que lleva a una relación de energía de 5/1000. Entonces, de acuerdo a los cálculos matemáticos de la relación de energía, la antena dipolo doble tiene menos pérdidas de energía a la hora de irradiar, porque al contener mayor número de dipolos existe mayor líneas de campo electromagnético que cruzan por los conductores de la antena dipolo doble, esto es producto de que los dipolos están ortogonalmente situados entre si [9] y va a tener una densidad de corriente más grande en las superficies de los radiantes [7][10], haciendo que la antena funcione como un sistema radiante complementario (unión de dos antenas dipolo simple o arreglo de antenas) [11].

b) VSWR

La relación de onda estacionaria de voltaje es una cantidad que describe la adaptación de impedancia del sistema [12]. En este caso la antena dipolo doble tiene un valor de VSWR igual a 1.22, mientras que la dipolo simple presenta 1.48, donde el

valor de 1.22 dice que la antena dipolo doble tiene una mejor relación con las ondas transmitidas y reflejadas [12]; como el evaluador de pérdidas del VSWR permite identificar qué sistema está mejor adaptado [12], a pesar, de que los dos valores VSWR de ambas antenas se encuentran dentro del rango de adaptación (1 a 2) [13] la antena dipolo doble muestra una mejor adaptación que la antena dipolo simple porque el dato del S11 tiene menores pérdidas de energía.

c) Patrón de radiación

De acuerdo a la experimentación de cada simulación de los diseños establecidos tanto para la antena dipolo simple y doble, al aumentar el largo del dipolo (L_{dipolo}) los lóbulos de radiación cambian en su forma ya que son semidireccionales pero con muchos nulos, además, hubo un cambio en los valores de la ganancia en los patrones de radiación; se determinó que entre más corto es L_{dipolo} , la ganancia aumenta; incluso al disminuir la medida de la altura del dipolo (H_{dipolo}) llega a subir la ganancia de los sistemas radiantes.

En la figura 20 se evidencia que a pesar de que se aumenta un dipolo a la antena simple, los lóbulos de radiación no tienen un cambio significativo, son por valores entre los ángulos de 20° y de 90° que presentan una menor ganancia en la del dipolo simple, sin embargo, son semejantes; esto produce que ambas antenas sean omnidireccionales y así logren un buen rendimiento de radiación.

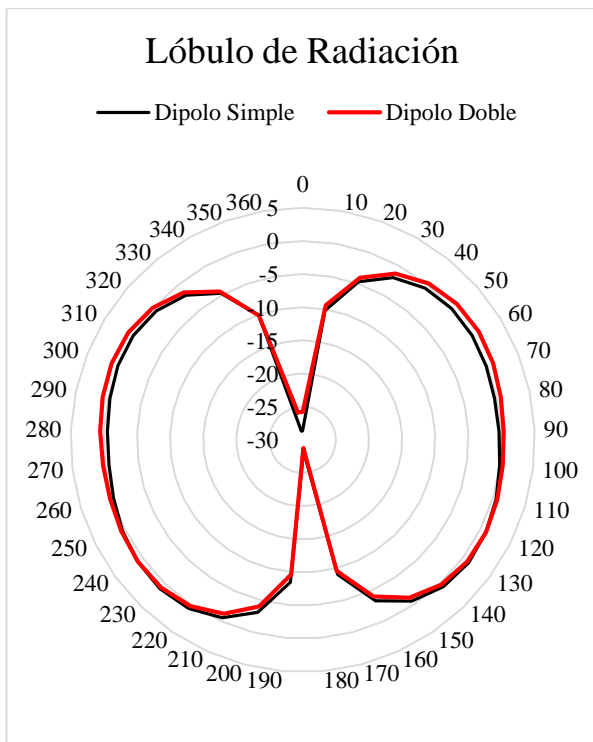


Figura 19. Comparación de lóbulos de radiación de la antena dipolo simple y doble.

V. CONCLUSIONES

La antena dipolo doble tiene mejores características que la antena dipolo simple, ya que presenta un valor de S11 de -23.01 dB mientras que el S11 del dipolo simple es de -21.40 dB lo que corresponde un 7% de mejora en el rendimiento del coeficiente de reflexión, porque a mayor número de dipolos existe mayores líneas de campo electromagnético que fluye por los conductores; además la antena dipolo doble excede en 2.17 GHz en su ancho de banda al dipolo simple.

La antena dipolo doble tiene un VSWR de 1.22, lo que dice que se acerca al valor ideal de 1 para que tenga una buena adaptación del sistema radiante.

En el patrón de radiación independiente del tipo de antena, el número de dipolos no influyen en el tipo de radiación, porque ambas son omnidireccionales y sus lóbulos son semejantes en todos los ángulos de Φ ; sin embargo, hay un 7.6% de diferencia en la ganancia de la antena dipolo simple en comparación a la antena dipolo doble.

VI. REFERENCIAS

- [1] J. Chen, W. Lin, P. Yan, J. Xu, D. Hou, and W. Hong, "Design of mm-Wave transmitter and receiver for 5G," *10th Glob. Symp. Millimeter-Waves, GSMM 2017*, pp. 92–93, 2017.
- [2] N. Ojaroudiparchin, M. Shen, and G. F. Pedersen, "Low-profile fabry-pérot cavity antenna with metamaterial SRR cells for fifth generation systems," *2016 21st Int. Conf. Microwave, Radar Wirel. Commun. MIKON 2016*, pp. 16–19, 2016.
- [3] E. Baldazzi *et al.*, "A High-Gain Dielectric Resonator Antenna with Plastic-Based Conical Horn for Millimeter-Wave Applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 19, no. 6, pp. 949–953, 2020.
- [4] F. M. Mekuria and L. M. Mfupe, "Spectrum Sharing for Unlicensed 5G Networks," *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, vol. 2019-April, pp. 1–5, 2019.
- [5] Z. U. Khan, A. Alomainy, and T. H. Loh, "Empty substrate integrated waveguide planar slot antenna array for 5g wireless systems," *2019 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. Usn. Radio Sci. Meet. APSURSI 2019 - Proc.*, vol. 2, pp. 1417–1418, 2019.
- [6] J. M. Huidobro, "Antenas de telecomunicaciones Publicación patrocinada por," 2013.
- [7] K. He, S. Gong, and F. Gao, "A Wideband Dual-Band Magneto-Electric Dipole," vol. 13, pp. 1729–1732, 2015.
- [8] Y. Liu, H. Yi, F. W. Wang, and S. X. Gong, "A novel miniaturized broadband dual-polarized dipole antenna for base station," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 1335–1338, 2013.
- [9] M. Li and K. Luk, "Wideband Magneto-Electric Dipole Antenna for 60-GHz Millimeter-Wave

- Communications,” vol. 63, no. 7, pp. 3276–3279, 2015.
- [10] H. Huang, X. Li, Y. Liu, and Y. Liu, “A Halved Volume Dual-polarized Dipole Antenna,” *ISAP 2018 - 2018 Int. Symp. Antennas Propag.*, vol. D, no. Substrate III, pp. 2–3, 2019.
- [11] M. Ye, X. R. Li, and Q. X. Chu, “Planar circularly polarized endfire antenna based on superposition of complementary dipoles,” *2016 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. APSURSI 2016 - Proc.*, pp. 509–510, 2016.
- [12] M. M. Donatti and L. T. Manera, “Object identification using VSWR evaluation based on a narrowband microstrip antenna and a tuned amplifier,” *LASCAS 2017 - 8th IEEE Lat. Am. Symp. Circuits Syst. R9 IEEE CASS Flagsh. Conf. Proc.*, pp. 41–44, 2017.
- [13] M. Vielma, “Introducción a las Antenas Contenido,” p. 45, 2005.